

人造湿地 ——

向自然借鉴的概念

一提及全球环境卫生问题，人们首先想到的是水污染和卫生设施缺乏。在发展中国家，为数众多的人群缺乏必要的卫生设施。据 2003 年 3 月联合国人居署（United Nations Human Settlements Programme）发表的《世界城市的水与卫生：为达到全球目标而采取的地区性行动》(Water and Sanitation in the World's Cities: Local Action for Global Goals) 报道，83% 的非洲城市居民及 55% 的亚洲城市居民尚未使用同下水道相连接的厕所。世界卫生组织 (WHO) 估计，到 2002 年 8 月为止，全球仍有 24 亿人没有基础卫生设施；且每年有 340 万人（其中绝大多数是儿童）死于与水相关的疾病。即使在一些饮用水和下水道设施齐全的富裕国家，仍需要改善设施，以有效地或更廉价地处理家庭污水、矿井径流及渗流、农业污水、以至大型停车场和机场跑道的径流污水。

我们利用大自然——人造湿地，解决了上述问题，即通过人为地构建厌氧带和需氧带，利用微生物来处理废水。人造湿地的外观可以是矩形池塘或类似自然沼泽地等等，但其基本原理是仿效自然，创造有利于所需微生物的生长条件，并使微生物有足够的空间去消化或降解污染物。正如 Golder Associates 的顾问工程师 James Gusek 所言：“我们利用大自然，并将它为我所用。”

俄亥俄州立大学的自然资源、环境科学及生态工程教授兼《生态工程》(Ecological Engineering) 杂志的编辑 William Mitsch 说，人造湿地往往用于不适合其它处理方法的地方。“目前已有数千个人造湿地遍布于世界各地，一般用于处理生活污水”，他说，“据我所知，未被尝试用人工湿地处理的污水渠道屈指可数，只是各地的效果不尽相同。”

用于处理酸性矿井废水

Mitsch 指出，仅在东阿巴拉契亚山脉已经修建了数百个湿地用于处理来自煤矿的酸性矿井废水。这种酸性溶液由水和矿物质发生化学反应而形成，经常由露天矿、深矿和矿井关闭几十年后的尾矿堆中流出。酸性废水可以溶解有毒重金属（包括铅、铜、镉和铝等）并将其带到下游。酸和重金属均对鱼类和其他水生生物有毒。

Gusek 和科罗拉多州矿业学院（the Colorado School of Mines）矿业化学和地球化学教授 Thomas Wildeman 合作，研究一种称之为“硫酸盐还原生物反应堆”的用于处理酸性矿井废水的实验性技术。在这个生物反应堆中，特定的细菌可以把硫酸根离子（多数酸性矿井废水中含有的典型成分）还原为硫离子，后者与废水中所溶解的重金属离子结合，形成金属硫化物沉淀，从而保留在湿地的有机质中。Gusek 说：“时机上，我们是在把这些重金属形成溶液的反应逆转过来”。他补充说，目前已有 20 多个这种生物反应堆在运行，规模从小型探索性的示范装置到规模完整的处理系统。

修建这种处理性湿地，需要在一个一英亩大小的较浅的人造池塘中加入动物粪肥（含有所需细菌）和富含纤维素的废弃材料如木条及锯屑（作为细菌养料）。“这些细菌需要矿井废水中的硫酸盐作为营养物质”，Gusek 说，“只需一次性投入细菌，其生存时间将和池塘中有机物质存在的时间一样长”。

Gusek 说，第一个大规模的硫酸盐还原生物反应堆已于 1996 年开始有效运作。这种处理性

湿地在未来的 10~30 年中无需加入新的肥料和纤维素，只需通过季度水质监测来检查处理效果。

与传统的处理系统比较，更经济、更美观、且易于监控，这些因素解释了为什么人造湿地成为“用于矿井废水或重金属污水的最佳处理技术”，Missouri 大学 Rolla 分校土木工程学副教授 Mark Fitch 如是说。然而，研究湿地应用于清理铅矿和铅加工厂的 Fitch 表示，人工湿地并非总是价廉的选择，因为搬运大量泥土可导致更高的造价。最近在密苏里州，一项用人工湿地处理被铅污染的电池回收站的提议，因造价过高而遭到否决。

重建自然平衡

人造湿地的构想并不是最近出现的。早在几千年前，中国人已开始利用鱼塘将有机废料再利用变成鱼食，这对他们宝贵的渔业来说意义重大。与之相应，中国已成为生物清除系统—“修复工程”（Restorer）的大规模实验的现场。该系统是由佛蒙特州伯灵顿市一个非赢利机构国际海洋方舟组织（Ocean Arks International）设计的。

福州是中国南部一个拥有 120 万人口的城市。在该城市中，来自小排污管道的污水汇入了长达 80 公里的污染严重的污水隧道。福州的修复工程建在污水隧道 500 米的延伸处，接收大约 1 万 2 千人排出的污水。

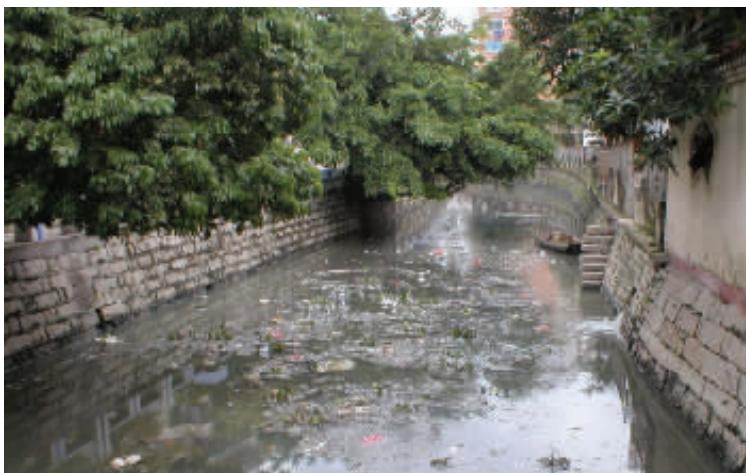
“污水散发着刺鼻的臭味，我几乎无法靠



开拓原貌：建立 Arcata 沼泽和野生生物保护区（上图和左图）的部分原因是恢复这个早在 100 多年前已经干涸和毁坏的沿海沼泽的原貌。

近。”生物学家 Erica Gaddis 曾经参与了修复工程的建设，他现在是佛蒙特大学的研究生。此外，由于污水隧道注入的河口处是一个渔场，这些污水成为了“一个公共卫生问题、生活质量问题和生态问题。”

修复技术是国际海洋方舟组织的创建者和主席 John Todd 几十年的研究成果，Todd 同时还是佛蒙特大学 Rubenstein 环境与自然资源学院的教授。一项典型的修复工程通常种植有 25 种植物、微生物和其它有机体。植物的根部为微生物提供栖息地和营养，这些微生物真正起到分解污染物的作用。



更清洁的运河：（左图）在中国白马，大大小小的运河所容纳的生活污水、商业污水和雨水，威胁着市内 6 百万居民的健康。（右图）仅两个月后，一个种有 20 个种属的 12,000 株植物的修复工程，减少了臭味、清除了固体污染物、改善了水的清洁度、减少了流向该地区主要河流的污水的细菌数。

Todd 说,修复工程的目标是利用更为复杂的生物系统提高传统的人造湿地技术的效能。“我们尽可能利用最少三种具有不同特点的生态系统,比如沼泽、池塘和河流系统。更广泛生态多样性明显增加了系统自我组织、自我设计、自我修复和自我复制的能力。

Gaddis 说,修复工程在其他方面也不同于人造湿地。它容纳了植物和相关的浮游微生物,并且使用一个曝气池连接电网,相比之下湿地则较为被动。对电流的大需求量相对地提高了修复工程的成本,但是其带来的较高的分解率则意味着修复工程与湿地相比,可以在更小的处理池内处理更多的污染物,因此它更适用于城区环境。

自从 2002 年福州建立修复工程以来,“水真的清澈了,臭味也消失了,植物长到 6 英尺高……环境明显得到了改善。”Gaddis 说。检测结果显示化学需氧量(即降解水中所有的有机物质所需的总氧量)从每升 100 毫克降到了每升 40 毫克,表明了这种处理方法是非常有效的。Todd 说上海市也在考虑在一些排污隧道中建立修复工程。

一种有效的技术?

尽管人造湿地技术逐渐被人们所接受,其设计仍旧是一门不确定的艺术。“它们设计起来比较困难,因为你试图与自然并肩作战,并且利用自然的能源,”Mitsch 说,“你必须知道自然湿地的工作原理、需要更多的技巧和对自然更深入的了解。

与传统的卫生设施工程师不同,设计人造湿地的生态工程师并不指望能够控制设计的每一个环节。Mitsch 说,更确切的说,生态工程师的目标是“自我设计。”他说:“我们认为当你在设计一个生态系统时,是它在设计自己——大自然是主要的承包人。”尽管工程师可以往系统中种植期望的有机体,而自然界将最终选择哪些植物和微生物会存活和兴旺起来,Mitsch 说。“在某种程度上,这与传统的工程设计完全不同。”

由于在人造湿地的建造过程中,技术、污染负荷及环境条件存在巨大差异,所以很难对这项污染治理技术的治理效果一概而论。但是 Mitsch 举了一些例子。自 1999 年以来,俄亥俄州 Logan 县的一处占地二英亩的湿地一直用于处理 17 英亩农田排出的污水。湿地减少了 40% 硝酸盐氮和 50% 总磷,而这两种化学物质都是导致农区地面水富营养作用的主要因素。位于 Mitsch's Olentangy 河流湿地研究园区的 13 英亩湿地,在已

经处理了污染的河水中的氮、磷和沉淀物近 10 年之后,仍未出现治理能力降低的迹象。增加降解能力很容易:“如果你想得到更好的降解效果,你只要设计一个更大的湿地”,Mitsch 解释说。

作为美国大规模生态工程的开创性实例之一的加利福尼亚 Arcata 沼泽和野生生物保护区,是一个毗邻于城市污水处理厂的修复湿地。这项工程 1985 年动工,耗资不到 70 万美元,在当时取代了一项更为昂贵的扩建污水处理厂的提议。307 英亩沼泽中的 30 英亩被用于污水的最终处理,或者说,对已由传统污水处理厂处理的水进行“抛光”处理。这一生态系统使一个早在 100 多年前已经干涸和毁坏的沿海沼泽恢复了原貌。

Arcata 的治理性湿地证明了两件事。首先,人造湿地可以成为美丽的景观——修复的沼泽位于老工业区,它引人注目地出现在介绍该城市的主页上。其次,它们有时是最经济的选择。“你经常会发现,如果你能运用自然的工具生态地解决

问题,它往往比你使用人工监控器、管道、泵,特别是化学物质要廉价得多”,Mitsch 说,“我们人类都渴望周围有一个美好的自然环境。因此,如果我们用一些亲近自然的东西来解决我们的问题,这将是一个双赢的方案。”

的确,人造湿地技术可能成为一个复杂、昂贵问题的解决方法。在 2001 年《水科学和技术》(Water Science & Technology) 杂志的第 44 卷 11-12 期上,巴西 Paraiba 联邦大学土木工程教授 B.S.O. de Ceballos 及其同事们在 Paraiba 州一条严重污染的河流上测试了人造湿地的效能。研究者写到:“由于设计、运转和维护简单,人造湿地技术可能是目前最适用于发展中国家的技术。”

—David J. Tenenbaum

译自 EHP 112:A44-A48 (2004)

人人享用安全用水

2003 年 6 月“促进家用安全水处理及保存”的国际网络正式启动,该网络将推广简单、低廉和能够现场使用的途径,尽快使欠富裕人群获得安全用水和卫生服务设施。这标志着由先前的以社区为基础的项目已转移到目前以家庭为基础获得饮用水和卫生设施。以上措施的目的是降低水源性疾病,特别是在易感人群中的死亡人数。据世界卫生组织统计,全世界每年约有三百四十万人由于不安全的用水和卫生设施而导致死亡,其中绝大部分是儿童。

该项工作网络的源动力始自联合国于 2000 年 9 月所启动的新千年发展计划,该计划包括在 2015 年之前将无法持久获得安全饮用水的人数降低一半的倡议。2002 年 11 月,联合国经济、社会与文化权利委员会正式确认人人享用安全用水的权利,并用标准的形式明确了基本享用水权,使“人人享用安全用水”这一计划得到了进一步的支持。

该工作网络由世界卫生组织牵头,并由多个合作团体,包括国际卫生与发展机构、非政府组织、科研中心、行业与工业协会及社团参与。除其他目标外,该网络还将开展独立研究以评估其成本效益、健康影响、社会可接受性以及可持续性干预措施。网络的指导原则包括让社区与个人参与开发适当的饮用水和卫生设施改进策略、让他们认识到妇女在管理家庭供水中的作用、提高当地技术、资源和能力建设。



人人享用安全用水:一个新的工作网络将促使欠富裕地区的家庭用水更为安全。

—Erin E. Dooley

译自 EHP 112:A44-A48 (2004)